Aus dem Arbeitsphysiologischen Institut der Universität Breslau
Direktor: Professor Dr. A. Basler

Ueber die Drehungen des Fusses um seine Längsachse.

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Doktorgrades in der Medizin,
bei der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Schlesischen Friedrich-Wilhelm-Universität
zu Breslau

vorgelegt von

Gert Hossfeld
aus Berlin.

Breslau 1939

Buchdruckerei und Verlag Eugen Jakubik, Breslau 10, Wörtherstraße 6

Gedruckt mit Genehmigung
der medizinischen Fakultät der Universität Breslau.

I. Referent: Prof. Dr. A. Basler
II. Referent: Prof. Dr. Blotevogel
Dekan: Prof. Dr. Gutzeit.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen Eltern in Dankbarkeit!

Daß der Gang des Menschen sich nicht in einer Ebene abspielt, sondern daß dabei Verschiebungen nach rechts und links vorkommen, das wußten schon die altgriechischen Bildhauer. Die Gesetze, nach denen sich der Körper in der frontalen Richtung bewegt, wurden mit der größten Genauigkeit durch die Untersuchungen von Fischer und allen denen, die später mit den gleichen Methoden arbeiteten, festgelegt. Schon aus diesen alten Untersuchen geht hervor, daß im Fuß eine Drehung um seine Längsachse möglich sein muß, die bei pathologischen Vorgängen von Hohmann als Torsion und Detorsion bezeichnet wird. Diesen Tatsachenkomplex hat Weinert unter dem Schlagwort „Verwringung" in weiten Kreisen der Bevölkerung bekanntgemacht. Seine Ausdrucksweise hat so großen Anklang gefunden, daß heute schon beinahe jeder Schuhmacher von Verwringung spricht. In letzter Zeit beschäftigen sich auch die Kreise der Schuhindustrie intensiv mit dieser Frage im Zusammenhang damit, wieweit der Schuh dieser Bewegung des Fußes Rechnung zu tragen hat.

Problemstellung.

Gerade diese praktische Bedeutung war mit ein Grund, weshalb ich auf Veranlassung von Herrn Professor Basler experimentelle Untersuchungen ausgeführt habe mit der Absicht, festzustellen, einmal wie groß die beim gewöhnlichen Gehen auftretende Verwringung ist, d. h. bis zu welchen Winkelgrößen

die Drehungen festzustellen sind, zweitens mit welchen Phasen der Gehbewegungen die Drehungen des Vor- bzw. Rückfußes[1]) zusammenfallen, und schließlich, wie eine solche Bewegung zustande kommt, bei der Erhebung auf die Zehen sowie bei passiver Erhöhung des Absatzes. Durch die letzte Untersuchung ist ja eine direkte Verbindung mit der Praxis gegeben, da die passive Erhöhung des Rückfußes durch die Unterlage dem Schuhabsatz entspricht.

Die beim Gehen auftretenden Drehungen des Fußes um seine Längsachse.

Schnell auftretende Formveränderungen lassen sich am besten mit Hilfe von kinemathographischen Aufnahmen festhalten. Derartige Aufnahmen, die speziell auf die Bewegungen des Fußes gerichtet sind, müssen, wie das in Arbeiten aus dem Baslerschen Institut schon mehrfach niedergelegt wurde, von unten gemacht werden, so daß die Lichtstrahlen nahezu horizontal verlaufen. Werden die Bewegungen nämlich von einem Meter über dem Fußboden oder einem noch höheren Punkt aus aufgenommen, dann besteht die Gefahr von Verzerrungen. Ein kinemathographischer Aufnahmeapparat ließ sich nicht ohne weiteres verwenden, da es nicht möglich war, ihn, wenn er auf dem Fußboden stand, zu bedienen bzw. auf den in der Bewegung befindlichen Unterschenkel und Fuß der Versuchsperson einzustellen. Überdies würde auch so das Objektiv noch zu hoch stehen. Deshalb wurde eine im Arbeitsphysiologischen Institut zu Breslau vorhandene Einrichtung für Serienaufnahmen auf ruhender Platte[2]) in der Weise umgearbeitet, daß der photographische Apparat durch einen kinematographischen Aufnahmeapparat ersetzt werden konnte. Die Versuchsperson führte die zu untersuchenden Gehbewegungen auf einem Teppichläufer mit Längsstreifen aus, der von dem Apparat weg auf eine gegenüberliegende schwarz bekleidete Wand zu gelegt war. Für spätere Versuchsreihen wurde diese Aufstellung verlassen und der kinemathograhische Aufnahmeapparat so auf eine Treppe aufgebaut, daß das Objektiv sich etwa 10 cm über dem Boden befand, wie es schematisch auf Abb. 1 dargestellt ist.

---

[1]) Hier wie in folgenden Zeilen spreche ich immer von Vor- und Rückfuß im Anschluß an die in der Orthopädie übliche Ausdrucksweise.
Vergl. G. Hohmann, Fuß und Bein, II. Aufl. München 1934. S. 15, 56.

[2]) A. Basler, Arbeitsphysiol. Bd. 9, S. 329, 1936.

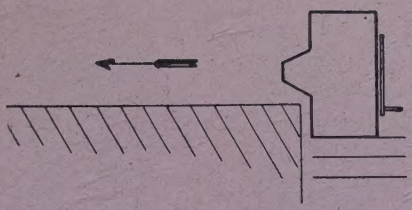

Abb. 1

Der Pfeil deutet die Gehrichtung der Versuchsperson an.

Auf der Mattscheibe der Camera ist dann der oben erwähnte, mit einem Streifenmuster versehene Teppichläufer zu sehen.

Um im Film die Bewegungen des Fußes beim Gehen zu kennzeichnen und seine Drehungen in der Längsachse in Winkelmaßen feststellen und ausdrücken zu können, wurde die Wade der Versuchsperson in ihrer Achse mit einer senkrechten Reihe von Taschenlampenbirnen versehen. Die Ferse wurde durch drei dicht nebeneinanderliegende Birnen in querer Richtung kenntlich gemacht. Unter dem Vorfuß wurde ein Holzspatel befestigt, an dem lateral zwei Birnen angebracht wurden. Die ganze Lampenanlage wurde durch einen Akkumulator gespeist. Durch diese Anordnung der Taschenlampen wurde im Film das Erkennen der jeweiligen Stellung des Vorfußes bzw. der Ferse sowie der Wadenachse ermöglicht.

Um einzelne Perioden auf dem Film markieren zu können, habe ich noch eine besondere Einrichtung angebracht. Unabhängig von der soeben beschriebenen Armierung des Fußes stand eine weitere Taschenlampenbirne dicht vor dem Objektiv der Kamera. Die Auslösung für diese Beleuchtungslampe stand auf einem neben der Gehbahn aufgestellten Tisch, wo ein besonderer Beobachter saß, der jedesmal auf einen Druckknopf drückte, solange der Fuß sich auf dem Boden befand und die Fußsohle von der Ferse nach der Fußspitze auf dem Boden abgerollt wurde. Wie aus den Filmaufnahmen zu ersehen ist, ergab sich somit eine Anzahl von Bildern, an deren Seite sich ein größeres helles Feld befindet: das sind alle Bewegungsphasen des Fußes aus der Zeit, während der der beobachtete Fuß mit dem Boden in Berührung stand. In der Periode des Schwingens fehlt das helle Feld.

Die Versuchsperson ging nun in ihrer gewöhnlichen Art auf einem der geraden Streifen des Teppichläufermusters einige Schritte von dem Objektiv weg. Dabei kamen Bilderstreifen zustande in der Art wie die in Abb. 2 und 3 wiedergegebenen.

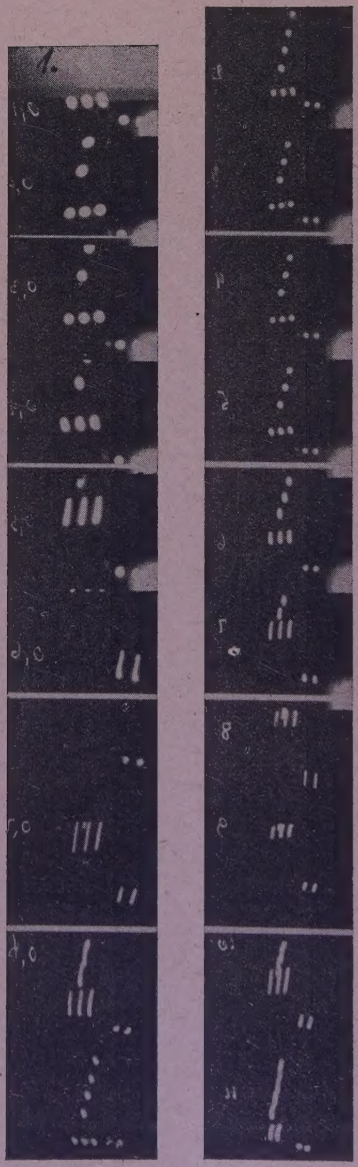

Abb. 2

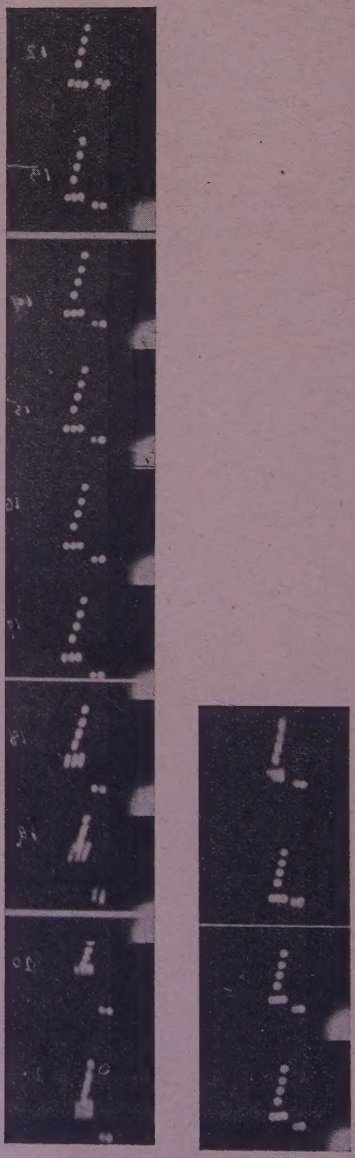

Abb. 3

Aus den Filmbildern läßt sich ohne weiteres der Winkel entnehmen, der zwischen einer an die Vorfußsohle angelegten Tangente und eine quer zur Achillessehne durch die Ferse gelegten Geraden eingetreten ist. Zur Vermeidung von Fehlern mußte eine Bewegung der Lampen gegenüber dem Fuß unter allen Umständen unmöglich gemacht werden, was erst nach wiederholten, schwierigen Vorversuchen geglückt ist.

Ein anderer Versuch sei als Tabelle wiedergegeben.

Bild-Nr.	Winkel Ferse/Vorfuß	x bedeutet Berührung mit dem Boden
1.	10°	x
2.	12°	x
3.	8°	x
4.	7°	x
5.	14°	x
6.	14°	
7.	12°	
8.	10°	
9.	2°	
10.	10°	x
11.	12°	x
12.	9°	x
13.	9°	x
14.	10°	x
15.	12°	x
16.	14°	
17.	15°	
18.	16°	
19.	7°	
20.	2°	
21.	3°	
22.	5°	x
23.	7°	x
24.	3°	x
25.	3°	x
26.	7°	x
27.	12°	x
28.	12°	x
29.	13°	
30.	12°	
31.	5°	
32.	3°	
33.	4°	

Abb. 7

Abb. 8

In der Abb. 7 ist die Ferse der Versuchsperson passiv erhöht. Der Winkel der Fersenachse mit der Tischplatte beträgt 87 Grad. Es hat also eine Einwärtsdrehung der Ferse um 2 Grad stattgefunden.

So läßt sich also also Ergebnis, übereinstimmend mit den Erfahrungen der Orthopädie feststellen, daß bei Erhebung auf die Zehen eine Einwärtskantung der Ferse stattfindet, die allerdings viel ausgesprochener ist bei bestehendem Knickfuß.

Beobachtung des Vorfußes, bei Stand auf flacher Sohle und Erhöhung der Ferse.

Wie verhält sich nun der Vorfuß? Um das festzustellen habe ich eine Stricknadel dicht hinter den Zehen mit Leukoplast quer auf den Fußrücken geklebt.

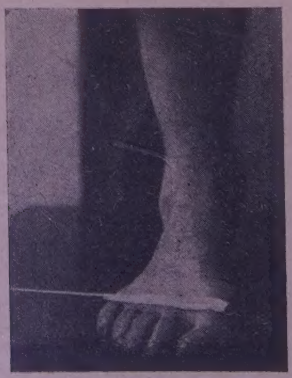

Abb. 9

In der Abb. 9 sehen wir die Versuchsperson mit bloßer Sohle ohne Unterlage auf der Tischplatte stehen. Die Stricknadel bildet mit der Tischplatte einen Winkel von 2 Grad, und markiert damit die Stellung des Vorfußes. Es kommt nun darauf an, die Veränderung der Winkelgröße Stricknadel/Tischplatte bei Erhöhung der Ferse zu beobachten, und daraus auf die Bewegung des Vorfußes zu schließen.

Abb. 10

Bei Unterlegen der Ferse mit dem bereits vorhin erwähnten Holzklotz stieg die Größe des Winkels zwischen Stricknadel und Tischplatte auf 4 Grad. Man müßte also auf eine Außenkantung von 4 Grad schließen.

Abb. 11

Um den Einfluß der Fersenerhöhung noch deutlicher zum Ausdruck zu bringen, habe ich versucht, auf eine Platte 2 Aufnahmen, d. h. erstens ohne und zweitens mit Fersenunterlage zu bringen.

Wie in Abb. 10 zu sehen ist, hat sich diesmal die Nadel um einen Winkel von 1 Grad verschoben, und zwar im Sinne einer Außenrotation.

Da es aber schwer verständlich schien, daß die Sohlenfläche des beim Zehenstand fest auf die Unterlage gepreßten Ballengebietes sich schräg zu stellen vermag, war an die Möglichkeit zu denken, daß die geringe Winkelverschiebung der Stricknadel dadurch zustande kommt, daß beim Erheben auf die Zehen die einzelnen Zehenstrecksehnen verschieden stark hervortreten.

Versuche mit der Spiegelmethode.

Zur Entscheidung dieser Frage schien mir deshalb noch die Untersuchung mit einer ganz anderen Methode wünschenswert.

Wenn eine Drehung der Sohle um ihre Längsachse stattfindet, dann muß sich das an den Druckstellen der einzelnen Zehenballen erkennen lassen. Und so bediente ich mich der Beobachtung der Fußsohlen einer auf einer Glasplatte stehenden Versuchsperson.

Bei den Versuchen mit dem Spiegelapparat tritt die Versuchsperson mit den bloßen Füßen auf die Glasplatte. Durch Kompression der Hautkapillaren werden auf der Sohle helle Flecken sichbar, durch die die Sohlenstützpunkte klar gekennzeichnet sind[1]) Es handelt sich nunmehr darum, die Veränderung der Sohlenstützpunkte im Spiegel zu beobachten, die bei den verschiedenen Höhenlagen der Ferse, mit und ohne Unterlage eintritt. Zur Erhöhung der Fersen wurden aus einer 0,6 cm dicken Glasplatte ausgeschnittene Quadrate von 8×8 cm Größe benutzt; durch deren Benutzung wurde erreicht, daß trotz der Erhöhung der Stützpunkt an der Ferse klar unterscheidbar blieb und außerdem das Ausmaß der Erhöhung durch Wegnahme bzw. Zugabe eines Glasquadrates zu verändern war. Ferner wurden für einige Versuche kleine Glasquadrate, Umfang 1,5×1,5 und Höhe 0,6 cm zur Unterstützung des Vorderfußes benutzt.

Der im hiesigen Institut benützte Fußspiegelapparat besteht aus einem 120 cm hohen Holzgerüst, auf dessen Oberfläche eine 37×37 cm große, 1 cm dicke Glasplatte in einem 45×45 cm großen Leistenquadrat eingelassen ist. In einem Winkel von 45 Grad ist unter dieser Glasplatte ein Spiegel angebracht, 35 cm in der Breite, 48 cm in der Länge. Die obere Kante des Spiegelglases ist von der hinteren Kante der Glasplatte 13,5 cm, die untere Kante des Spiegels von der vorderen Kante der Glasplatte 46 cm entfernt.

[1]) Vergl. A. Basler, Z. f. Orthopädische Chirurgie, Bd. 48, S. 98.

Im Spiegel erkennen wir bekanntlich, wenn man von den Zehenspitzen absieht, je eine Druckstelle am Zehenballen und an der Ferse. Diese beiden stark ausgeprägten weißen Flächen sind vielfach durch einen mehr oder weniger breiten weißen Saum verbunden, der sich am lateralen Sohlenrande von vorn nach hinten erstreckt. Abb. 11 zeigt den auf dem Spiegelapparat stehenden Fuß, wobei sich das Sohlenbild auf dem Spiegel deutlich erkennen läßt.

Abb. 12

Wurde jetzt die Ferse unterlegt, dann zeigte sich wieder eine Verkleinerung des zwischen der Glasplatte und der Fersenachse eingeschlossenen Winkels um ungefähr 2 Grad. Gleichzeitig — und das ist das Wichtigste an diesem Versuch — war stets die Zehenballenstützfläche nach dem inneren Sohlenrand hin verschoben.

Zur Unterlage der Ferse wurde in solchen Fällen ein Satz von Glasquadraten benützt, die aus einer 6 mm dicken Spiegelscheibe ausgeschnitten waren.

Zur näheren Beleuchtung dieser Reihe von Untersuchungen sei einer meiner Versuche (Versuchsperson: 12jähriger Knabe, 31 kg schwer) ausführlich beschrieben. Aus dieser Versuchsreihe ist auch der Einfluß der Absatzhöhe auf die Abwinkelung des Vorfußes zu ersehen. Die wiedergegebenen Sohlenbilder sind nach den Spiegelbildern genau skizziert.

Versuchsperson 1: Stehen auf ganzer Sohle ohne Unterlage. Sohlenstützpunkte der Ferse und des Vorfußes in etwa 1—2 Fingerbreite lateral durch eine Brücke verbunden. Zehenstützpunkte leicht angedeutet (s. Abb. 13).

Abb. 13

Unterlegen je eines Fersenquadrates. Sohlenstützpunkte an der Ferse am Vorfuß. Die Verbindungsbrücke ist verschwunden; sie ist am lateralen Rande noch angedeutet. Leichte Verstärkung der Zehendruckpunkte (s. Abb. 14).

Abb. 14

Unterlegen von je zwei Fersenquadraten. Fersenstützpunkt unter Freilassung des äußeren Randes der Ferse. Vorfuß: Sohlenstützpunkte in ganzer Breite; auch der letzte Rest einer Verbindung nach dem Fersenstützpunkt ist verschwunden;
Stützpunkte an sämtlichen Zehen (s. Abb. 15).

Abb. 15

Unterlage von je drei Fersenquadraten, d. h. eine Erhöhung der Ferse um 1,8 cm, also etwa Höhe eines normalen Halbschuhabsatzes. Unter Auslassung des äußersten Randes Sohlenstützpunkt an der ganzen Ferse. Der Zehenballendruckpunkt verhält sich fast genau so, wie beim Unterlegen von 2 Glasplatten.

Unterlage von je vier Fersenquadraten: Keine Veränderung der Fersenstützpunkte. Eine deutliche Verlagerung des Sohlenstützpunktes am Vorfuß in medialer Richtung ist erkennbar. Die Zehenstützpunkte der 2 lateralen Zehen verlieren ihre deutliche Zeichnung, stattdessen ist eine starke Aufhellung der Großzehenfläche festzustellen (s. Abb. 16).

Abb. 16

Unterlage von je fünf Fersenquadraten. Ferse unverändert. Weitere Verschiebung des Sohlenstützpunktes des Vorfußes in medialer Richtung und eindeutige Belastung des Großzehenballens zu Gunsten der lateralen Vorderfußseite erkennbar (s. Abb. 17).

Abb. 17

Die Versuche mit einem 13jährigen Schüler (Senkfuß) unterscheiden sich von denjenigen des 12jährigen Jungen nur dadurch, daß die Sohlenstützpunkte an Ferse und Vorfuß in ganzer Breite an der lateralen Seite der Sohle miteinander verbunden sind.

Bei einer Fersenunterlage von 0,6 cm Höhe war aber auch hier die die beiden Stützpunkte verbindende Brücke bis auf eine Andeutung an dem Ballenstützpunkt verschwunden.

Bei einer 1,2 cm hohen Fersenunterlage begann auch hier der Zehenballenstützpunkt sich nach der Großzehenseite zu verlagern, auch hier vieder um so ausgesprochener, je höher die Ferse unterlegt wurde.

Auch bei einem 29 Jahre alten Arbeiter mit normalen Füßen erhielt ich die gleichen Ergebnisse.

Somit spricht auch diese Versuchsreihe eindeutig für eine Auswärtskantung des Vorfußes bei Unterlegung der Ferse.

Die Vorwärtsverschiebung des Schwerpunktes beim Zehenstand.

Bei dieser Gelegenheit muß auch hier eine Frage erörtert werden, die gegenwärtig im Arbeitsphysiologischen Institut zu Breslau in anderem Zusammenhang bearbeitet wird, nämlich, wie sich die Schwerlinie bei Erhebung der Ferse verhält. Zu ihrer Beantwortung können auch meine Spiegelbeobachtungen der Fußsohle einen Beitrag liefern.

Um einen allgemeinen Überblick über die Wanderung der Schwerlinie beim Unterlegen der Ferse zu gewinnen, stellte ich jeweils Untersuchungen an mit der Basler'schen Schwerpunktwaage[1]).

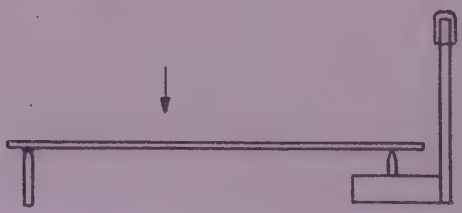

Abb. 18

Die Schwerpunktwaage (vergl. Abb. 18) besteht aus einem 2 m langen und 3,5 cm dicken Brett, das in einer Höhe von 29,5 cm über dem Boden an seinem einen Ende aufliegt; am anderen Ende ist es mit einem 7 cm hohen Unterstützungsblock auf dem Trittbrett einer Personenwaage gelagert. Mit Hilfe dieser Apparatur gelingt es bekanntlich, die Schwerlinie des menschlichen Körpers, sowie deren Verschiebung bei Erhöhung der Ferse bzw. Stand auf der bloßen Sohle oder Stand in Schuhen festzustellen. Es wird im Abstand von 1 m von der feststehenden Kante des Brettes eine Linie gezogen, an die die Versuchsperson mit der Ferse herantritt, mit dem Gesicht nach der Waage. Die Versuche wurden mit 4 verschiedenen Personen durchgeführt.

[1]) A. Basler, Pflug. Arch. Bd. 221, S. 768, 1929.

Die Lage der Schwerlinie wird nach folgender Gleichung berechnet: $x = 1 \times A : K$; wobei 1 die Länge des Brettes (200 cm), A die an der Waage abgelesene Belastung und K das Gewicht der Versuchsperson in kg bedeutet[1]). X ist die Entfernung der Schwerlinie von der feststehenden Kante des Brettes. Denn das in der obigen Beschreibung erwähnte Brett des Versuchsapparates ist als ein einarmiger Hebel aufzufassen, auf den von oben die Kraft K (Körpergewicht) von unten die Kraft A (Federwaage) einwirkt. Das an der Federwaage abzulesende Gewicht entspricht etwa der Hälfte des Gesamtkörpergewichts der Versuchsperson. Sowohl ein absatzloses Stehen wie bei verschieden hoher Fersenunterlage wurde die Lage der Schwerlinie berechnet.

Zur Illustration des Gesagten möge eines meiner Versuchsprotokolle dienen:

Versuchsperson: 25jährige Frau, 54,5 kg Gewicht, 159,5 cm groß.

Ohne Unterlage

Waage zeigt an: 31,0; Gleichung: $200 \times 31 = x \times 54{,}5$

$x = 6200 : 54{,}5 = 113{,}7$

Mit Unterlage

Waage zeigt an: 32,5; Gleichung: $200 \times 32{,}5 = x \times 54{,}5$

$x = 6500 : 54{,}5 = 119{,}2$

In Schuhen mit mittelhohen Absätzen

Waage zeigt an: 31,4; Gleichung: $200 \times 31{,}4 = x \times 54{,}5$

$x = 6280 : 54{,}5 = 115{,}2$

Wie man sieht, ist durch Unterlegen der Ferse die Schwerlinie um 5,5 cm nach vorn gewandert, beim Tragen von Schuhen mit verhältnißmäßig niedrigen Absätzen allerdings nur um 1,5 cm.

Die ähnlichen Ergebnisse erhielt ich bei 3 weiteren Versuchspersonen. Die Ergebnisse sind in Abb. 19 schematisch dargestellt.

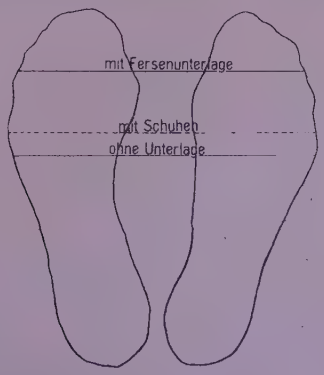

Abb. 19

[1]) A. Basler, Z. f. Morph. u. Anthr. Bd. 30, S. 552, 1932.

Besonders sei darauf hingewiesen, daß sich bei den von mir untersuchten Personen immer eine Verlagerung des Schwerpuuktes nachweisen ließ, auch bei den weiblichen, wo mitunter doch eine gewisse Anpassung an hohe Absätze[1]) vorkommen soll.

Nach dieser Abschweifung komme ich von Neuem auf meine Spiegeluntersuchungen zu sprechen.

Die soeben beschrieben Versuche zeigen, daß der Vorfuß seine Peruationsbewegung ausführe, trotzdem er wegen der Horizontalverschiebung des Schwerpunktes mit größerer Kraft gegen die Unterlage gepreßt wird, als beim Stehen auf flacher Sohle.

---

[1]) Vergl. H. Frenzel, Diss. Breslau 1938, S. 12.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.

1. Eine an die Sohlenfläche im Gebiete der Zehenballen angelegte Gerade bildet im Laufe eines Schrittes mit einer quer durch die Ferse gelegten Linie Winkel von verschiedener Größe; das ist der Ausdruck einer Torsion um die Längsachse des Fußes.
2. Diese Torsion war bei meinen Versuchspersonen am stärksten ausgesprochen während des Stemmens, wo der Winkel zwischen den beiden Linien bis auf 16 Grad steigen konnte.
3. Auch beim aktiven und passiven (Unterlegen der Ferse) Erheben der Ferse im Stand fand eine Verwringung des Fußes statt in dem Sinne, daß beim Zehenstand die Ferse eine Einwärts-, der Vorfuß eine Auswärtsrotation ausführte.
4. Da beim Zehenstand der ganze Körper von den Zehenballen getragen wird, konnte der Vorfuß sich nur in geringem Ausmaße drehen (1—2 Winkelgrade).
5. Daß aber eine, wenn auch nur kleine Rotation immer vorhanden war, konnte durch besondere Versuche gezeigt werden.
6. Diese Rotation kommt zustande, trotzdem beim Unterlegen der Schwerpunkt nach vorn wandert.

Herrn Prof. Dr. Basler spreche ich für seine freundlichen Anregungen meinen herzlichsten Dank aus.

Lebenslauf.

Am 17. September 1914 wurde ich, Gert Hoßfeld, als Sohn des Regierungsassessors und Oberleutnants zur See der Reserve Johannes Hoßfeld und seiner Ehefrau Else, geb. von Büren, in Neubabelsberg, Kr. Teltow bei Berlin, geboren.

Von Ostern 1923 bis März 1932 besuchte ich das Herder-Reform-Realgymnasium in Berlin-Charlottenburg. Im März 1932 bestand ich das Abiturium. Im Anschluß begann ich das Studium der Medizin in Berlin, welches ich in Königsberg und Breslau fortsetzte.

Das Medizinische Staatsexamen bestand ich am Januar 1939 in Breslau.